특징점 추출을 통한 HMD 회전각측정 알고리즘 개발

Development of a rotation angle estimation algorithm of HMD using feature points extraction

노영식* · 김철희** · 윤원준*** · 윤유경**
(Young Shick Ro · Chul Hee Kim · Won Jun Yun · Yoo Kyoung Yoon)

Abstract - In this paper, we studied for the real-time azimuthal measurement of HMD (Head Mounted Display) using the feature points detection to control the tele-operated vision system on the mobile robot. To give the sense of presence to the tele-operator, we used a HMD to display the remote scene, measured the rotation angle of the HMD on a real time basis, and transmitted the measured rotation angles to the mobile robot controller to synchronize the pan-tilt angles of remote camera with the HMD. In this paper, we suggest an algorithm for the real-time estimation of the HMD rotation angles using feature points extraction from pc-camera image.

Key Words : HMD(Head Mounted Display), Tele-operated vision system, Rotation angle estimation, Labeling

1. 서 론

1.1 연구 개발 배경

원격제어 이동로봇은 인간이 직접 작업하기에 위험하고 복잡한 환경에서의 작업이나 무인탐사와 같은 일을 하기 위해서 독자적으로 주변 환경을 인식하고 작업을 수행, 완료할 수 있는 기능을 필요로 한다. 본 논문은 원격제어 이동로봇의 비전 시스템을 제어하기 위한 연구의 한 분야로 HMD를 착용한 사용자 머리의 회전을 측정하고자 하는 연구이다

원격제어 비전 시스템은 사용자가 착용하여 원격제어 이동로봇의 주위환경을 볼 수 있는 HMD와 HMD의 회전각을 측정하기 위한 PC카메라, 이동로봇에 설치되어 회전을 제어할 수 있는 Pan-Tilt, 이동로봇 주위환경의 정보를 파악하기 위한 Stereo Camera로 구성 되어 있고 본 논문에서는 PC카메라를 이용하여 HMD의 회전각을 실시간으로 측정하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

1.2 연구 내용 및 목표

본 논문은 이동로봇 원격제어 시스템에서 원격비전 시스템을 제어하기 위해 클라이언트 시스템에서 PC카메라를 사용하여 HMD를 착용한 사용자 머리의 회전각을 측정하고자 하였다. 기존에는 Pan-Tilt 회전을 조이스틱을 사용하여 제어하였기 때문에 위치를 컨트롤하는 점에서 불편하였다. 본 논문에서는 이러한 점을 개선하고자 PC 카메라에 의해 실시간으로 사용자가 착용한 HMD의 회전각을 측정하고자 한다. 이 연구의 최종 목표는 클라이언트 시스템에서 측정 된 HMD의 회전각 정보를 네트워크와 무선 랜을 통해서 이동로봇의 Pan-Tilt에 전송하여 제어하는 것이다. 본 논문에서는 원격비전 시스템을 구성하기 위한 초기 단계로 PC 카메라로 HMD의 3-D Pose Estimation, 즉 HMD의 roll, pitch, yaw 회전각을 실시간으로 측정하는 방법을 사용하였다.

PC 카메라에 의해 얻은 이미지를 초당 30프레임을 처리하여 실시간으로 회전각을 측정할 수 있도록 연구하였다. 본 논문에서 측정 알고리즘을 간략하게 설명하면 우선적으로 회전각 측정에 필요한 8개의 특징점의 좌표를 획득하기 위해서 PC카메라로부터 얻은 영상을 이진화, 라벨링 등 영상처리 알고리즘을 적용하였다. 그리고 회전각 측정은 획득한 8개의 특징점의 좌표를 사용하였고 cross-ratio의 불변성과 중심사영을 이용한 회전각 측정 알고리즘을 적용시켜 roll, pitch, yaw를 측정할 수 있었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 문에서는 좌표 획득을 위한 영상처리 알고리즘과 회전각 측정을 위한 알고리즘, 실험결과에 대해 소개하고 결론에서는 제안된 알고리즘의 유용성에 대한 언급할 것이다.

2. 본 론

2,1 좌표검출을 위한 알고리즘

영상을 획득하기 위해 Microsoft Life Cam1.4 PC카메라를 사용하였고 영상 스케일은 320×240을 사용하였다. 첫 번째로 PC카메라로부터 얻어지는 영상은 컬러 영상이므로 이를 흑백명암도의 밝기 값(Gray scale)으로 변환을 해야 한다. 변환된 그레이 스케일 영상에서 이진화를 이용하여 8개의 특징점을 획득할 수 있다. 이진화 된 이미지는 배경(background)과 물체(foreground)에 노이즈를 가지고 있는데 이 노이즈를 제거하기 위해 모폴로지(Morphology) 기법을 이용하였다. 이진

저자 소개
* 正 會 員 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템學科 正敎授 · 工博
** 學生會員 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템學科 碩士課程
***正 會 員 : 蔚山大學 電氣電子情報시스템學科 博士課程

화 시키고 노이즈를 제거한 영상은 8개의 특징점만 존재하게 되고 이들의 좌표를 얻기 위해서 이 점들을 각각 다른 라벨 값을 넣어주어야 한다. 그래서 라벨링 알고리즘을 사용하여 각각의 특징점에 라벨값을 넣어주고 좌표를 검출하였다.

2.2 방향각 측정 알고리즘

2.2.1 방향각의 구성

앞의 영상처리 알고리즘을 이용하여 검출한 8개 특징점의 좌표들을 가지고 Roll, Pitch, Yaw를 측정하였다.

2.2.2 Roll Estimation Algorithm

roll은 Z-axis의 회전각이다. 이 roll은 영상처리 알고리즘에서 얻어진 x와 y 좌표만으로 쉽게 구할 수 있다. 다음의 방법을 이용하여 Z축의 회전각을 측정하였다.

그림 1. Roll 측정 알고리즘

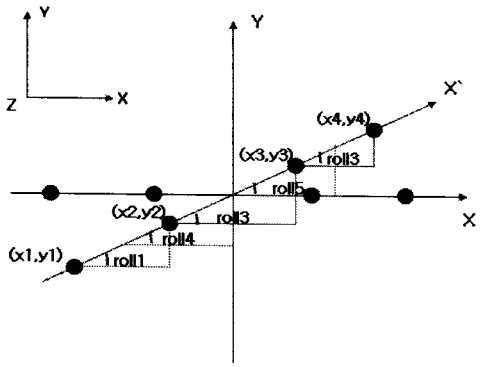


Figure 1. The algorithm for roll estimation

$$roll1 = atan(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}), roll2 = atan(\frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}), roll3 = atan(\frac{y_1 - y_3}{x_4 - x_3})$$

$$roll4 = atan\frac{((y_1 + y_2)/2 - (y_2 + y_3)/2)}{((x_1 + x_2)/2 - (x_2 + x_3)/2)}$$

$$roll5 = atan\frac{((y_2 + y_3)/2 - (y_3 + y_4)/2)}{((x_2 + x_3)/2 - (x_3 + x_4)/2)}$$

$$roll(\gamma) = (roll1 + roll2 + roll3 + roll4 + roll5)/5 \quad (1)$$

2.2.3 Yaw Estimation Algorithm

Yaw각의 측정에는 중심사영과 cross-ratio의 불변성을 이용하였다. 그림 2에서 보듯이 물체의 점과 핀 홀, 영상평면위의 점은 일직선상에 있다. 위와 같은 사영을 중심 사영(perspective projection)이라 한다. 이 중심사영을 이용하여 아래 4개의 식들을 얻을 수 있다.

$$u_2 = \frac{fX_2}{Z + Z_2} = \frac{f(d + d_1)\cos\beta}{Z + (d + d_1)\sin\beta} \quad (2)$$

$$u_1 = \frac{fX_1}{Z + Z_1} = \frac{fd_1\cos\beta}{Z + d_1\sin\beta} \quad (3)$$

$$v_1 = \frac{fX_1}{Z - Z_1} = \frac{fd_1\cos\beta}{Z - d_1\sin\beta} \quad (4)$$

$$v_2 = \frac{fX_2}{Z - Z_2} = \frac{f(d + d_1)\cos\beta}{Z - (d + d_1)\sin\beta} \quad (5)$$

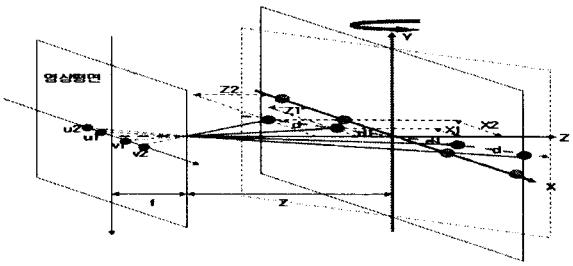


그림 2. Y축을 기준으로 회전할 때의 점들의 중심사영

Figure 2. The perspective projection of points while the head is rotating about Y-axis

위의 식 중에서 식(3)을 이용해서 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$u_1 = \frac{fX_1}{Z + Z_1} \Rightarrow Z + Z_1 = \frac{fX_1}{u_1} \quad (6)$$

$$Z = \frac{fX_1}{u_1} - Z_1 = Z_1(\frac{fX_1}{u_1 Z_1} - 1)$$

그림 3. Yaw(β) 계산

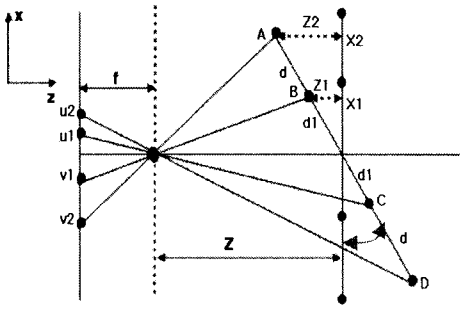


Figure 3. β calculation

여기서 Y축을 기준으로 회전한 각은 β이다. 그림 3를 보면 $\frac{Z_1}{X_1} = \tan(\beta)$임을 알 수 있다.

그리고 식 (6)에서 $(\frac{fX_1}{u_1 Z_1} - 1) = S$라고 하면 이 식으로부터 Y축을 기준으로 회전하는 각(β)을 얻을 수 있다.

$$S = \frac{f}{u_1\tan(\beta)} - 1 \Rightarrow \beta = atan(\frac{f}{u_1(S+1)}) \quad (7)$$

식(7)에서 f는 카메라의 초점거리이므로 알 수 있다. 하지만 u_1과 S는 구해야 하는 변수이다. 이 두 변수는 X축에 존재하는 중심사영 된 4개의 점들의 상대적인 거리로부터 결정할 수 있다.

$\frac{Z_1}{d_1}=\sin\beta$ 이고 $Z_1=d_1\sin\beta$임을 알 수 있고 아래와 같은 식이 유도된다.

$$\frac{A}{B}=-\frac{(S-1)\left\{S-(\frac{d}{d_1}+1)\right\}}{(S+1)\left\{S+(\frac{d}{d_1}+1)\right\}}$$

u_1을 구하기 위해서 다른 두 개의 cross-ratio 불변성을 이용하였다. 그림 3를 이용하여 다음의 두 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{(u_2-u_1)v_1}{(u_1-v_1)u_2}=-\frac{dd_1}{2d_1(d+d_1)}=C_{ratio1} \quad (8)$$

$$\frac{(v_1-v_2)u_1}{(u_1-v_1)v_2}=-\frac{dd_1}{2d_1(d+d_1)}=C_{ratio2}$$

영상에서 얻을 수 있는 점들의 상대적인 거리만을 이용해서 u_1을 결정할 수 있다.

$$u_1=\frac{(u_1-v_1)\Delta v\Delta u C_{ratio2}-(u_1-v_1)^2(u_2-v_2)C_{ratio2}^2}{\Delta v(u_1-v_1)C_{ratio2}-\Delta v\Delta u} \quad (9)$$

앞에서 구한 S와 u_1을 식(6)에 대입하면 Y축에 기준으로 회전한 각 β를 얻을 수 있다.

2.2.4 Pitch Estimation Algorithm

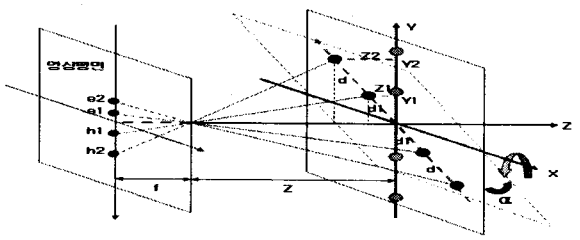


그림 4. X축을 중심으로 회전각 측정
Figure 4. Pitch estimation

Pitch각을 측정하는 알고리즘은 yaw각을 측정하는 알고리즘과 동일한 방식을 사용한다.

$$e_2=\frac{fY_2}{Z+Z_2}=\frac{f(d+d_1)\cos\alpha}{Z+(d+d_1)\sin\alpha} \qquad e_1=\frac{fY_1}{Z+Z_1}=\frac{fd_1\cos\alpha}{Z+d_1\sin\alpha}$$

$$h_1=\frac{fY_1}{Z-Z_1}=\frac{fd_1\cos\alpha}{Z-d_1\sin\alpha} \qquad h_1=\frac{fY_2}{Z-Z_2}=\frac{f(d+d_1)\cos\alpha}{Z-(d+d_1)\sin\alpha}$$

중심사영을 이용하여 식을 구하고, 회전각을 구할 수 있다.

2.3 실험 결과

아래의 3개의 표는 각각 roll, pitch, yaw 의 각을 실험한 결과이다. 각 실험값이 실제 각도가 약 1°에서 2°가량의 오차가 나는 것을 볼 수 있다. 이 오차는 카메라의 위치나 물체의 위치가 정확하지 않음에 따른 오차라 볼 수 있다.

표 1. Roll 측정 결과
Table 1. Roll estimation results

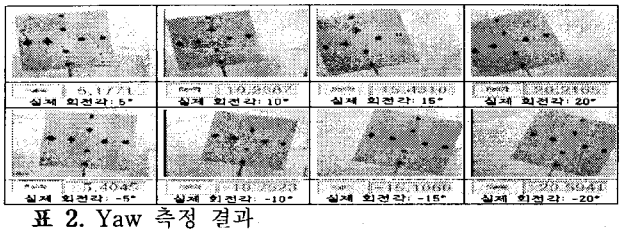


표 2. Yaw 측정 결과
Table 2. Yaw estimation results

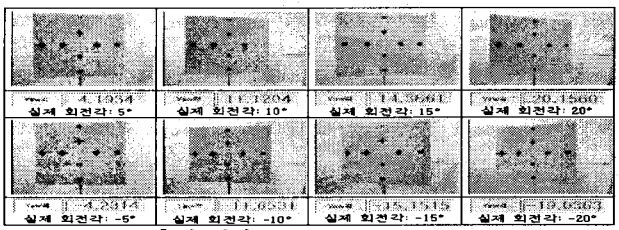
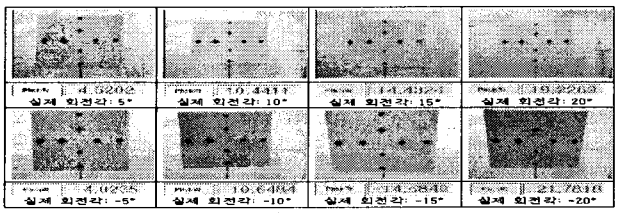


표 3. Pitch 측정 결과
Table 3. Pitch estimation results



3. 결 론

본 논문은 원격제어 비전 시스템 구축을 위한 연구이다. 카메라로부터 얻은 회전각을 네트워크를 통해 이동로봇에 장착된 pan-tilt에 전송하여 제어하고자 하는 목적으로 영상처리 알고리즘으로부터 얻는 8개의 특징점의 좌표를 이용하여 실시간으로 회전각을 측정하였다. 더 정확한 회전각 측정을 위한, 차후 과제로는 조명 등의 외란에 극복할 수 있는 영상처리 알고리즘이 추가되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 손재범, 정완균, 염영일, "원격제어 시스템", 제어・자동화 시스템 학회지, pp.42~60, 1996.

[2] Ren C.Luo, Tse Min Chen and Chih-Chen Yih, "Intelligent Autonomous Mobile Robot Control Through the Internet." IEEE, Vol. 1, pp. 6-11, December 2000.

[3] 심교만, "시간지연 안정성을 고려한 이동로봇의 무선 원격조정", 울산대학교 석사학위 논문, pp.1-6, 2002.12.

[4] 정기수, "이동로봇 원격조작을 위한 인터넷 기반 제어시스템에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집(D), pp1983-1986, 2006.07.

[5] Olivier Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision A Geometric Viewpoint", The MIT press, pp7-30, 1993.

[6] 저/조강현・유범재 공역, "3차원 비전", 대영사, pp19-38, 2000

<이 연구에 참여한 연구자(외 일부)는 2단계 BK21 사업과 NARC 지원을 받았음>